

EVALUASI KARAKTERISTIK VARIASI LILITAN TERHADAP RESPON DINAMIK DAN DISTRIBUSI TEMPERATUR PADA TUNGKU FLEKSIBEL POROS TUNGGAL

*EVALUATION CHARACTERISTICS OF COIL VARIATIONS ON DYNAMIC RESPONSE AND
TEMPERATURE DISTRIBUTION ON FLEXIBLE SINGLE CORE POT*

Yanky Newalse¹, Reza Fauzi Iskandar¹, Tri Ayodha Ajiwiguna²

^{1,2}Program Studi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Telkom University

¹yankynew@gmail.com, rezafauzi@gmail.com

²tri.ayodha@gmail.com

Abstrak

Penelitian yang dilakukan adalah evaluasi karakteristik variasi lilitan terhadap respon dinamik dan distribusi temperatur pada tungku fleksibel poros tunggal. Penelitian ini dilakukan dengan dua metode pengambilan data yaitu secara perhitungan dan eksperimen. Pengujian secara eksperimen, difokuskan pada titik tengah pengukuran, hingga diperoleh keadaan tunak secara alami. Pada 200 lilitan filamen pemanas, hasil pengukuran suhu yang didapatkan adalah 179°C, jika pada 250 lilitan filamen pemanas adalah 114°C, lalu pada 300 lilitan filamen pemanas adalah 113.8°C. Pada penelitian ini, juga dilakukan pemodelan dalam bentuk persamaan fungsi transfer dan menentukan nilai parameter-parameter karakteristik seperti *rise time* (T_r), *time constan* (τ), dan *settling time* (T_s) pada data eksperimen adalah 1746 detik, 795 detik, 3180 detik untuk 200 lilitan filamen pemanas, lalu 1575.41 detik, 717 detik, 2868 detik untuk 250 lilitan filamen pemanas dan 1792.93 detik, 816 detik, 3264 detik untuk 300 lilitan filamen pemanas. Pada persamaan fungsi transfer, nilai *openloop gain* (k) dan *time constan* (τ) untuk masing-masing variasi lilitan adalah 7.98, 4.25, 3.88 dan 1036 detik, 1235 detik, 1260 detik, dimana nilai k dan τ diperoleh secara manual.

Kata Kunci : Karakteristik Tungku Pemanas, Filamen Pemanas, Fungsi Transfer

Abstract

The purpose of the research to evaluation characteristics of coil variations on dynamic response and temperature distribution on flexible single core pot. This research uses two methods, they are calculation and experiment. Experimental testing, focused on the midpoint of measurement, until natural steady state is obtained. On 200 heating coil, the result is 179°C, if using 250 heating coil the result is 114°C, and then if using 300 heating coil the result is 113.8°C. In this study, modeling was also carried out in the form of transfer function equations and determining the value of characteristic parameters such as rise time (T_r), constan time (τ), and setting time (T_s) in experimental data including 1746 seconds, 795 seconds, 3180 seconds for 200 heating filament coil, then 1575.41 seconds, 717 seconds, 2868 seconds for 250 heating filament coil and 1792.93 seconds, 816 seconds, 3264 seconds for 300 heating filament coil. In the equation of the transfer function, the value of openloop gain (k) and time constan (τ) for each coil variation is 7.98, 4.25, 3.88 and 1036 seconds, 1235 seconds, 1260 seconds, where the k and τ value is obtained manually.

Keynote : Furnace Characteristic, Heating filament, Transfer Function

1. Pendahuluan

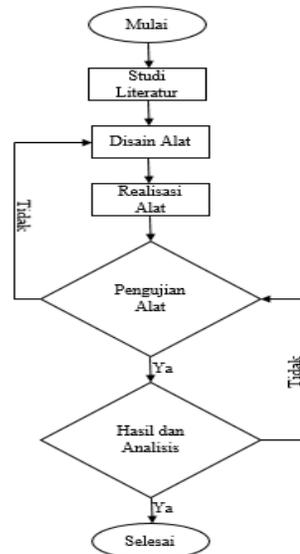
Tungku pemanas adalah suatu alat yang dapat digunakan untuk melelehkan bahan berupa logam serta dapat mengubah bentuknya atau merubah sifat-sifatnya (perlakuan panas)[1][2][3]. Tungku pemanas, terdiri dari dua jenis metoda penghasil panas yaitu metoda penghasil panas dari hasil pembakaran dan listrik. Pada metode penghasil panas dari hasil listrik sangat efisien dan ramah lingkungan[4][5].

Pada tungku pemanas dengan sumber listrik, panas yang dihasilkan tungku didapatkan dari hasil perubahan energi listrik menjadi energi kalor. Peneliti menyarankan bahwa dalam perancangan tungku pemanas, bahan isolator yang digunakan lebih baik memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah[8]. Pada penelitian berikutnya, dilakukan uji coba kinerja rangkaian kelistrikan tungku pemanas

, dicoba pada suhu 800°C dapat ditahan hingga 30 menit, hasil yang dapat diperoleh ialah temperatur kerja yang konstan 800°C. Maka dari itu, pada kasus penelitian ini disarankan untuk bahan isolator yang digunakan, tahan terhadap kejutan termal atau memiliki rentang tertentu untuk nilai konduktivitas termal pada tungku pemanas[9]. Pada penelitian berikutnya juga, perancangan tungku tersebut dihasilkan rancang bangun tungku *Heat Treatment* yang dapat dipergunakan dalam perlakuan panas, pada waktu pencapaian temperatur maksimal 1000°C dari temperatur 31°C dalam tungku 28 menit 45 detik. Sehingga dalam penelitian ini menyarankan pada bagian depan hendaknya menggunakan plat atau refraktori yang lebih bagus (nilai konduktivitas termal), agar dapat menahan panas jauh lebih baik[10]. Jadi dari ketiga penelitian sebelumnya banyak memberikan saran mengenai penggunaan isolator yang baik untuk merancang tungku pemanas, lalu dalam penelitian tersebut juga belum banyak membahas mengenai karakterisasi dalam memvariasikan jumlah lilitan untuk penggunaan filamen pemanas dan respon dinamik pada tungku pemanas.

2. Metode Penelitian

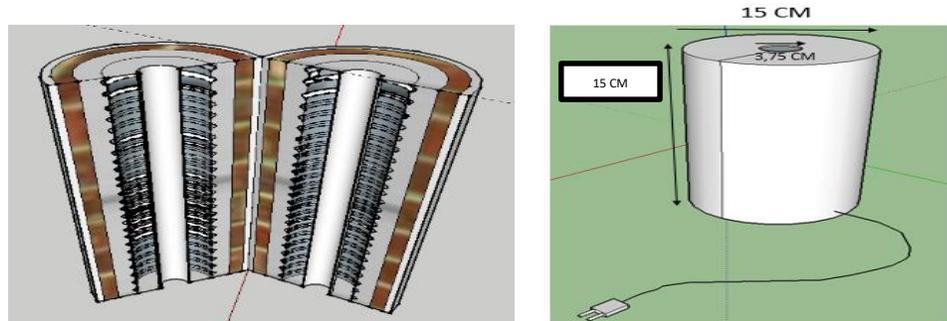
Metode penelitian yang akan dilakukan digambarkan dalam diagram alir yang terdapat pada Gambar 3.1 adalah diagram alir penelitian untuk mengevaluasi karakterisasi variasi lilitan terhadap respon dinamik dan distribusi temperatur. Dalam penelitian ini tahap pertama yang dilakukan adalah studi literatur. Pada tahap ini, mencari referensi mengenai tungku pemanas dan teori yang akan dipakai dalam melakukan penelitian nantinya. Tahap selanjutnya adalah disain alat. Dalam tahap ini akan didisain tungku pemanas dengan mempertimbangkan bahan isolator dan dimensi tungku pemanas dengan menggunakan bantuan aplikasi *software*. Tungku pemanas didisain berdasarkan teori dan referensi dari penelitian sebelumnya, jadi acuan dalam mendisain tungku pemanas didasari juga pada teori yang akan dipakai dalam melakukan penelitian mengenai pengukuran temperatur terhadap waktu. Kemudian tahap realisasi alat. Dalam tahap ini akan dilakukan perancangan tungku pemanas dengan disain yang sudah di buat. Tahap selanjutnya adalah pengujian alat. Pada tahap ini tungku pemanas dilakukan pengujian, tujuannya untuk mengetahui seberapa besar nilai temperatur yang dapat bekerja pada tungku pemanas, lalu seberapa lama juga bahan isolator dapat digunakan dalam melakukan penelitian mengenai mengamati perubahan temperatur pada tungku pemanas, jadi jika nilai temperatur yang dihasilkan dari tungku pemanas tidak mencapai 100°C dan bahan isolator pada tungku pemanas mengalami kerusakan maka akan dialihkan kembali ke disain alat. Tahap hasil dan analisis adalah tahap dimana nilai perubahan temperatur terhadap waktu yang telah diamati akan dilakukan analisis, jadi jika analisis yang dilakukan dapat memenuhi tujuan dari penelitian maka dianggap selesai, tapi jika salah satu tujuan belum tercapai maka dialihkan kembali ke tahap pengujian alat. Tungku pemanas diuji kembali sampai hasil dari pengujian yang dilakukan dapat dianalisis dan bisa mencapai tujuan penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 2.1 Diagram Alir

2.2 Disain Alat Penelitian

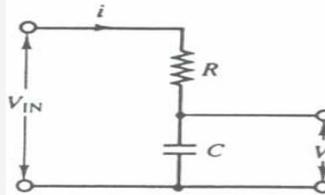
Dalam penelitian ini akan dilakukan disain alat tungku pemanas untuk penelitian yang akan dilakukan. Tungku pemanas didisain dibantu dengan menggunakan *software skethcup*, pada software tersebut akan mempermudah dalam melakukan disain tungku pemanas yang ingin digunakan untuk melakukan penelitian. Tungku pemanas didisain dengan dimensi 15 cm untuk tinggi dan 15 cm untuk diameter keseluruhan dari tungku pemanas. Tungku pemanas akan dibentuk seperti tabung, dimana inti tengah tabung dibuat berlobang dengan diameter 3 cm. Pada inti tengah tabung tersebut yang akan digunakan sebagai tempat pengukuran perubahan temperatur. Tungku pemanas dirancang dengan bentuk seperti tabung silinder yang bisa dibuka menjadi setengah bagian tabung silinder, tujuannya adalah untuk mempermudah dalam mevariasikan lilitan filamen pemanas.



Gambar 2. 1 Prototipe Tungku Pemanas

2.2 Penurunan Rumus Untuk Sistem Orde 1

Dalam penelitian ini, dilakukan penutunan rumus pada sistem panas sehingga didapatkan sistem tersebut adalah sistem orde satu sebagai berikut :



Gambar 2. 2 Analogi Sistem Pemanas dengan Rangkaian Listrik

$$V_{in} - V_{out} = i \cdot R \tag{2.1}$$

$$i = \frac{dq}{dt} \text{ dimana } q = CV, \text{ maka} \tag{2.2}$$

$$i = \frac{CdV}{dt} \tag{2.3}$$

$$RC \frac{dV}{dt} + V_{out} = V_{in} \tag{2.4}$$

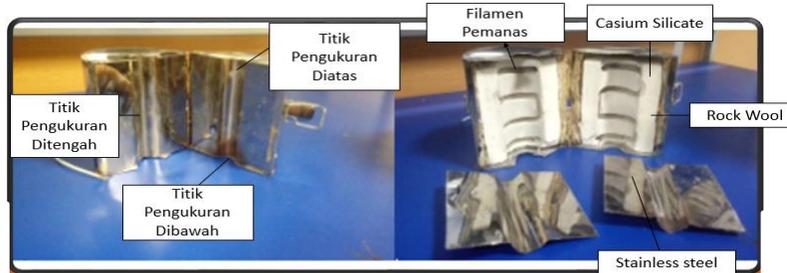
$$\tau \frac{dV}{dt} + V_{out} = V_{in} ; \tau = R \cdot C \tag{2.5}$$

$$G(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{\tau s + 1} \tag{2.6}$$

3. Pembahasan

3.1 Implementasi Alat Penelitian

Pada penelitian ini, telah dirancang suatu sistem pemanas berupa tungku pemanas yang dapat bekerja diatas temperatur 100°C. Perubahan suhu yang terjadi pada tungku pemanas sangat dipengaruhi karna adanya perbedaan lilitan filamen pemanas yang dipasang pada sistem. Perbedaan lilitan filamen pemanas yang dipasang diantaranya adalah 200, 250 dan 300 lilitan. Lilitan filamen pemanas yang divariasikan mengakibatkan nilai hambatan juga berbeda, untuk 200, 250 dan 300 lilitan memiliki nilai hambatan sebagai berikut 34.01 ohm, 43.34 ohm dan 52.98 ohm. Jadi semakin besar lilitan filamen pemanas yang dipasang maka semakin besar juga nilai hambatan pada lilitan. Dalam melakukan penelitian, tungku pemanas diberikan sumber teganga AC sebesar 50 V, diperlakukan sama setiap perbedaan lilitan yang dipasang pada sistem. Hal ini menyebabkan nilai arus yang masuk ke tungku pemanas mengalami penurunan, untuk 200, 250 dan 300 lilitan filamen pemanas memiliki nilai arus sebagai berikut 0.7A, 0.5A dan 0.4A, karena tiap-tiap lilitan memiliki nilai hambatan yang berbeda sehingga arus yang masuk ke tungku pemanas juga berbeda. Nilai arus berbanding terbalik terhadap nilai hambatan, semakin besar nilai hambatan maka semakin kecil nilai arus dan sebaliknya. Pengukuran temperatur pada tungku pemanas dilakukan di bagain tengah inti tungku pemanas dengan tiga titik pengukuran yang berbeda.

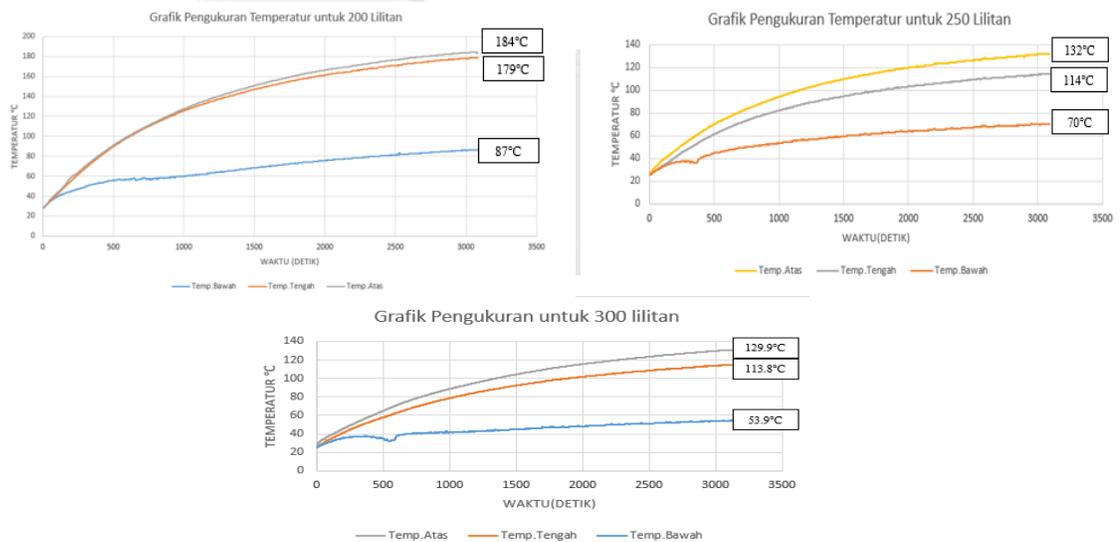


Gambar 3.1 Sistem Pemanas (*Furnace*)

3.3 Hasil Pengukuran Secara Eksperimen

Hasil pengukuran yang didapatkan dari penelitian ini adalah pengaruh variasi lilitan seabgai sumber pemanas dari tungku pemanas terhadap perubahan suhu yang dihasilkan dari sistem. Terdapat tiga hasil pengukuran suhu sebagai berikut :

Hasil pengukuran untuk 200,250 dan 300 lilitan filamen pemanas sebagai berikut :

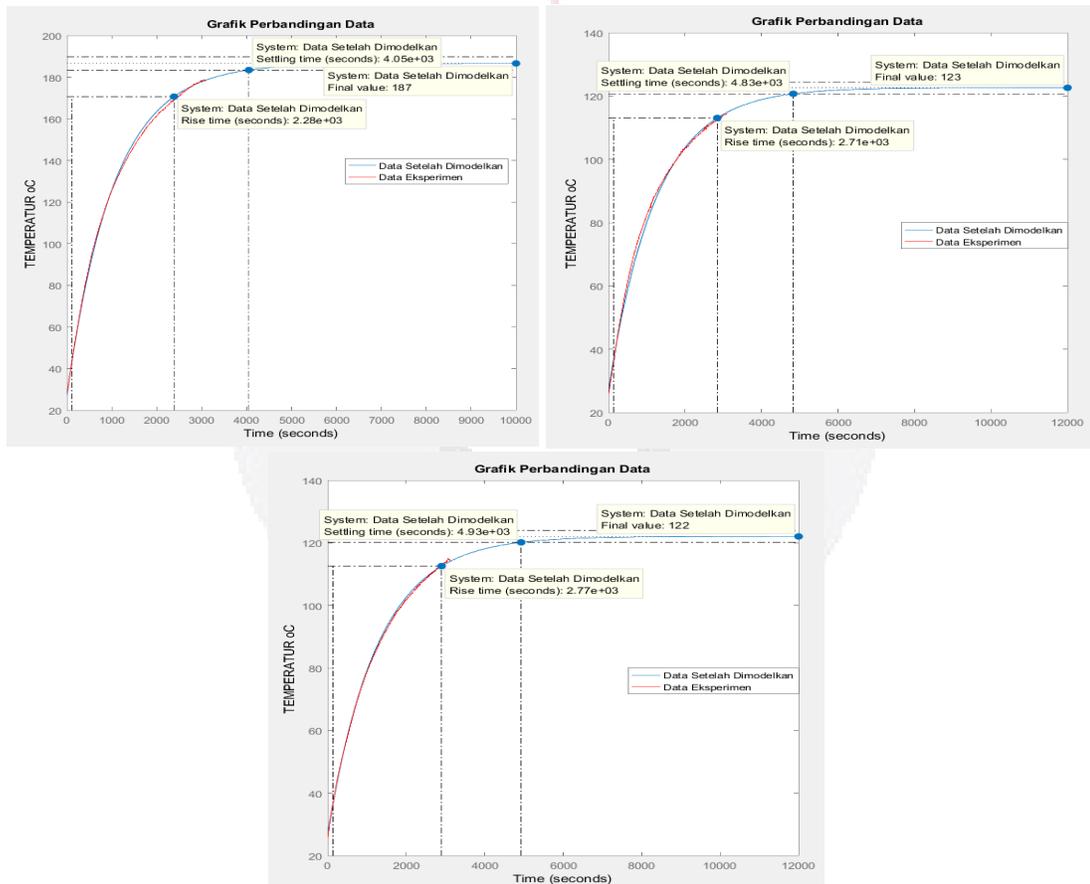


Gambar 3.2. Pengukuran Suhu Pada 200,250 dan 300 Lilitan Filamen pemanas

Pada grafik gambar 3.2 yaitu 200, 250 dan 300 lilitan filamen pemanas diatas menyatakan bahwa hasil dari pengukuran suhu untuk titik atas, tengah dan bawah pada keadaan tunak ialah 184 °C, 179°C, 87°C, lalu 132°C, 114°C, 70°C dan 129.9°C, 113.8°C, 53.9°C. Dapat dilihat dari Gambar 3.2, pengambilan data dilakukan dengan tiga titik pengukuran yang berbeda, dan didapatkan nilai temperatur yang diukur dibagian bawah selalu lebih kecil dari pada pengukuran di titik tengah dan atas tabung, hal ini disebabkan bahwa udara yang dipanaskan akan mengakibatkan masa jenis udara menjadi ringan sehingga udara bergerak keatas, sama halnya untuk pengukuran dititik tengah. Maka dari itu untuk pengukuran dititik atas menjadi lebih besar nilai temperatur yang teramati. Dalam penelitian yang dilakukan, titik pengukuran ditengah tabung lebih baik digunakan sebagai analisis dalam melakukan penelitian, karena dititik tengah tabung tidak bersentuhan langsung dengan udara luar sedangkan untuk pengukuran dibawah dan diatas bersentuhan langsung dengan udara luar. Dari ketiga pengukuran yang sudah dilakukan, dapat dilihat bahwa perubahan temperatur yang terjadi dari setiap lilitan filamen pemanas yang divariasikan mengalami perubahan, hal ini disebabkan karena adanya perbedaan hambatan dan arus yang terjadi sehingga mengakibatkan nilai temperatur yang didapatkan setiap lilitan filamen pemanas berubah. Jadi semakin besar lilitan filamen pemanas maka semakin besar hambatan dan semakin kecil arus yang melalui filamen pemanas, hal ini menyebabkan nilai temperatur yang diukur juga semakin kecil, begitu pula sebaliknya.

3.5 Fungsi Transfer

Berdasarkan dari data penelitian yang diperoleh, dapat dimodelkan dalam bentuk fungsi transfer sebagai berikut :



Gambar 3.4 Grafik Respon Sistem 200,250 dan 300 lilitan filamen pemanas

Berdasarkan data grafik pada gambar 3.4 diatas dapat dibuat persamaan fungsi transfer untuk 200,250 dan 300 lilitan filamen pemanas sebagai berikut :

$$G(s) = \frac{T(out)}{Q(in)} = \frac{k}{\tau s + 1} = \frac{7,98}{1036s + 1}; \frac{k}{\tau s + 1} = \frac{4,25}{1235s + 1}; \frac{k}{\tau s + 1} = \frac{3,55}{816s + 1} \quad (2.7)$$

Pada Gambar 3.4 diatas, untuk 200, 250 dan 300 lilitan filamen pemanas didapatkan nilai time settling, time rise adalah 4050detik, 2280detik, lalu 4830detik, 2710detik dan 4930detik, 2770detik. Untuk grafik data setelah dimodelkan menunjukkan keadaan respon yang seharusnya terjadi pada grafik data eksperimen. Pada data eksperimen, untuk 200, 250 dan 300 lilitan filamen pemanas, nilai akhir yang didapatkan adalah 179°C, 114°C dan 113.8°C, sedangkan untuk data setelah dimodelkan adalah 187°C, 123°C dan 122°C. Dapat disimpulkan, untuk 200, 250 dan 300 lilitan filamen pemanas seharusnya masih bisa naik hingga nilai akhir yang didapatkan lebih kurang 187°C, 123°C dan 122°C. Nilai k (gain) *openloop* dan τ (konstanta waktu) pada persamaan diatas didapatkan dengan cara *tuning* (penalaan) secara manual sehingga nilai keluaran yang ditampilkan dari simulasi bisa menyerupai nilai dari eksperimen yang didapatkan. Untuk nilai τ sangat dipengaruhi adanya hambatan dari lilitan filamen dengan kapasitas kalor pada sistem maka dari itu pada persamaan diatas didapatkan nilai τ untuk lilitan 300 lebih besar dibandingkan dengan lilitan 200, karena semakin besar lilitan filamen maka semakin besar nilai hambatan yang didapatkan. Pada persamaan yang didapatkan menggambarkan situasi dari respon tungku yang sebenarnya, pada eksperimen yang dilakukan sebenarnya belum menunjukkan respon sudah tunak, hal ini dikarenakan pada pengambilan data mengantisipasi terjadinya kerusakan pada isolator tungku, maka dari itu persamaan fungsi transfer berfungsi untuk menunjukkan respon sistem yang seharusnya terjadi. Respon sistem pada eksperimen juga dapat menentukan nilai karakteristik seperti konstanta waktu, waktu naik dan waktu penyelesaian sebagai berikut :

a. *Time constan* (waktu konstan)

Ukuran waktu yang menyatakan kecepatan respon dalam keadaan konstan, untuk pengukuran waktu konstan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\tau(200 \text{ lilitan filamen pemanas}) = 63,2\% \times (179^\circ\text{C}) = 113,128^\circ\text{C}(795\text{detik})$$

$$\tau(250 \text{ lilitan filamen pemanas}) = 63,2\% \times (114^\circ\text{C}) = 72,04^\circ\text{C}(717\text{detik})$$

$$\tau(300 \text{ lilitan filamen pemanas}) = 63,2\% \times (114^\circ\text{C}) = 72,04^\circ\text{C}(816\text{detik})$$

b. *Rise time* (waktu naik)

Ukuran waktu yang menyatakan keberaan suatu respon akan naik, pengukuran waktu akan naik dimulai dari respon 10% hingga 90%, untuk pengukuran waktu naik (*rise time*) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$T_r = (10\% \times \text{NilaiKeadaanTunak} - 90\% \times \text{NilaiKeadaanTunak}) = 1995\text{detik}(200 \text{ lilitan})$$

$$T_r = (10\% \times \text{NilaiKeadaanTunak} - 90\% \times \text{NilaiKeadaanTunak}) = 2039\text{detik}(250 \text{ lilitan})$$

$$T_r = (10\% \times \text{NilaiKeadaanTunak} - 90\% \times \text{NilaiKeadaanTunak}) = 2103\text{detik}(300 \text{ lilitan})$$

Persamaan empiris yang digunakan adalah nilai yang mempunyai pendekatan sangat besar terhadap hasil dari simulasi, maka dari itu persamaan *rise time* (waktu naik) yang digunakan pada keadaan respon 10% hingga 90%.

c. *Setting time* (pengaturan waktu)

Ukuran waktu yang menyatakan respon akan mulai pada keadaan tunak, pada saat respon telah masuk 2% dari respon keadaan tunak, untuk pengukuran pengaturan waktu (*setting time*) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$T_s(\pm 2\%) = 4 \times 795 = 3180 \text{ s} (200 \text{ lilitan filamen pemanas})$$

$$T_s(\pm 2\%) = 4 \times 717 = 2868 \text{ s} (250 \text{ lilitan filamen pemanas})$$

$$T_s(\pm 2\%) = 4 \times 816 = 3264 \text{ s} (300 \text{ lilitan filamen pemanas})$$

Persamaan empiris yang digunakan adalah nilai yang mempunyai pendekatan sangat besar terhadap hasil dari simulasi, maka dari itu persamaan *setting time* yang digunakan pada keadaan respon telah masuk lebih kurang 2% dari keadaan tunak.

Berdasarkan pendekatan yang dilakukan dari hasil nilai persamaan empiris, didapatkan ketidaksamaan dikarenakan pada respon grafik secara eksperimen belum sepenuhnya tunak sehingga pada penentuan nilai karakteristik menyebabkan nilai yang didapatkan berbeda.

4. Kesimpulan

Dari penelitian tugas akhir yang sudah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Telah dirancang tungku pemanas dengan dimensi 15 cm untuk diameter luar tabung dan 15 cm untuk tinggi tabung, tungku pemanas digunakan untuk pengukuran perubahan suhu pada inti tengah dengan diameter 3 cm, bahan isolator yang digunakan adalah *casium silicate* dan *rock wool*.
2. Dari penelitian yang sudah dilakukan, didapatkan bahwa pengaruh dari lilitan yang divariasikan pada filamen pemanas menyebabkan perbedaan nilai temperatur pada saat pengukuran, semakin besar jumlah lilitan filamen pemanas maka semakin kecil nilai temperatur yang didapatkan. Nilai arus yang didapatkan dalam melakukan penelitian untuk 200, 250 dan 300 adalah 0.7A, 0.5A, 0.4A, hal ini dikarenakan semakin besar jumlah lilitan filamen maka semakin besar juga hambatan, sehingga menyebabkan nilai arus menjadi kecil.
3. Pada penelitian ini, dapat memodelkan persamaan fungsi transfer dari ketiga pengukuran variasi lilitan yang berbeda yaitu 200, 250 dan 300 lilitan filamen pemanas yaitu $\frac{7.98}{(1036s+1)}$, $\frac{4.25}{(1235s+1)}$ dan $\frac{3.88}{(1260s+1)}$, untuk nilai *open loop gain* (k) dan τ (konstanta waktu) didapatkan secara penalaan atau tuning manual.

Daftar Pustaka

- [1]. Agus Rizal, Y.S (2016). Pembuatan Tungku Pemanas (Muffle Furnace) Kapasitas 1200°C. *Jurnal J-Ensitec*.
- [2]. Ary Mustofa Ahmad, E.P. (2011). Rancang Bangun dan Uji Performansi Tungku Keramik. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 181-186.
- [3]. Cengel, Y.A. (2003). *Heat Transfer : A Partical Approach*. New York : Mcgraw Hill Education(Asia).
- [4]. Eko Prasetya B, Z.A. (2010). Simulasi Perpindahan Panas Konduksi Pada Pengelasan. *Mekanika*, 262.
- [5]. Handoyo, E.A. (2001). Pengaruh Jarak Kaca ke Plat Terhadap Panas yang Diterima. *Jurnal Teknik Mesin*, 52-56.
- [6]. Haris Suprastyo, P.H. (2016). Pembuatan *Electric Furnace* Berbasis Mikrokontroler. *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur)*, 2527-5674.
- [7]. Holman, J. (2010). *Heat Transfer (Tenth Edition)*. New york: Mcgraw Hill.
- [8]. Intan Nurul Rokhimi, P. (2015). Alat Peraga Pembelajaran Laju Hantaran Kalor Konduksi. *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika*, 270.
- [9]. Iqbal Syaichurrozia*, A.M.(2014). Kajian Performa Alat Penukar Panas *Plate and Frame* : Pengaruh Laju Aliran Massa, Temperatur Umpan dan Arah Aliran Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh. *Eksergi*.
- [10]. Jonsson, W.F.(1982). *A New Furnace Design For Constant Temperature Electrothermal Atomic Absorption Spectroscopy*. *Spectrochimica Acta*, 1021-1028.
- [11]. Nazar, R. (2016). Karakteristik Perpindahan Panas Konveksi Alamiah Aliran. *ISSN 1411-240X*.
- [12]. Ogata, K. (1997). *Modern Control Engineering*. Minnesota, *Modern Control Engineering Third Edition (Hal. 134-140)*. America: Tom Robbins.
- [13]. Pengaturan, I.t. (2005). Karakteristik Respon. Surabaya: ITS.
- [14]. Philip J. Smith, W.A. (1990). *Furnace Design Using Comprehensive Combustion Models. Combustion and Flame*, 111-121.
- [15]. Rahmat, M.R. (2015). Perancangan dan Pembuatan Tungku Heat Treatment. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*.
- [16]. Riswanto. (2015). Analisis Resistansi *Coil* Kawat Tembaga Terhadap Perubahan Suhu Sangat Rendah Sebagai Rancang Dasar Pengukuran Suhu Rendah. *Jurnal Pendidikan Fisika*.
- [17]. Sailah, S. (2010). Menentukan Distribusi Temperatur dengan Menggunakan Metode. *Jurnal penelitian Sains*.

- [18]. Susana N. Paubun, R.A. (2009). Konsepsi Mahasiswa Tentang Perpindahan Kalor. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA*.
- [19]. Tundjung Indrati Y, S.T. (2006). Analisa Kerusakan Komponen Pemanas Atas. *ISSN*, 0216-3128.
- [20]. Umrowati, P.D. (2011). Analisis Pengaruh Perpindahan Panas Terhadap Karakteristik Lapisan Batas Pada Pelat Datar. *Jurnal Matematika*.
- [21]. Walujodjati, A. (2006). Perpindahan Panas Konveksi Paksa. *Momentum*, 21-24.
- [22]. Zuhdi Ma'sum1)*, M.A. (2012). Analisis Perpindahan Panas Dengan Konveksi Bebas dan Radiasi Pada Penukaran Panas Jenis Pipa dan Kawat. *Jurnal Teknik Kimia Vol 7*.

